

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Marija Krajnović

Probavna fiziologija u primorskih gušterica
(*Podarcis siculus R.*) s otočića Pod Mrčaru i Pod
Kopište

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

Ovaj rad je izrađen u Zavodu za animalnu fiziologiju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Zorana Tadića. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra ekologije i zaštite prirode.

Srdačno se zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Zoranu Tadiću na danom povjerenju, stručnim savjetima, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada. Posebno se zahvaljujem doktorantu Becku Wehrleu i njegovom mentoru doc. dr. sc. Donovanu Germanu (University of California, Irvine, SAD) na pruženoj prilici i suradnji, terenskom radu, sakupljanju i analiziranju uzoraka. Također se zahvaljujem doc. dr. sc. Anthonyu Herrelu (Museum National d'Histoire Naturelle, Pariz, Francuska) na suradnji i pomoći kod terenskog rada. Hvala Nathan Gold, Parth Javeri, Martini Ratko, Ivi Salamon, Barbari Horvatić, Valeriji Aptreevoj na pomoći pri terenskom radu.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Probavna fiziologija u primorskih gušterica (*Podarcis siculus* R.) s otočića Pod Mrčaru i Pod Kopište

Marija Krajnović

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Od oko 6000 vrsta guštera, samo 2% povremeno ili stalno jede bilje. Omnivornost je evoluirala najmanje sedam puta unutar ljuskaša, dok je čista herbivorijska relativno rijetka. Na evoluciju biljojednosti utjecali su različiti ekološki čimbenici od kojih važno mjesto zauzima dostupnost hrane. Istraživanja smo proveli na populacijama primorske gušterice (*Podarcis siculus*) sa otoka Pod Mrčaru i Pod Kopište na kojima je početkom 70-tih godina izveden pokus kompetitivnog isključenja (eng. competitive exclusion). Nakon oko 30 godina, pokazano je da gušterice na Pod Mrčari, koje su potomci gušterica s Pod Kopišta, tijekom ljeta jedu veće količine biljne hrane te da imaju modificirano probavilo koje ukazuje na mogućnost fermentativnog razgrađivanja celuloze pomoću mikroorganizama. U našem istraživanju smo zaključili da su gušteri s Pod Mrčare veći i teži od ishodišne populacije s Pod Kopišta, te da imaju veću relativnu duljinu probavila, pogotovo kod ženki. Također smo zaključili da postoji interakcija između učinka staništa (otoka) i spola na relativne duljine probavila. Potrebna su još mnoga istraživanja ove i drugih vrsta guštera, kako bi bolje razumjeli fiziološke i morfološke promjene povezane s evolucijom herbivornosti i omnivornosti, i kako bi shvatili koji sve ekološki čimbenici mogu utjecati na nastanak herbivornosti kod guštera.

(26 stranica, 11 slika, 1 tablica, 23 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: (herbivornost, omnivornost, fiziologija, probava, primorska gušterica (*Podarcis siculus*))

Voditelj: Dr. sc. Zoran Tadić, izv. prof.

Ocjenitelji: dr.sc. Sven Jelaska izv. Prof., dr.sc. perica Mustafić izv. Prof.

Rad prihvaćen: 16.02.2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

Digestive physiology in the Italian Wall Lizard (*Podarcis siculus* R.) from islands Pod Mrčaru and Pod Kopište

Marija Krajnović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Of 6,000 species of lizards, only 2% occasionally or regularly eat plants. Omnivory has evolved at least seven times within squamata, while total herbivory is relatively rare. Evolution of herbivory has been affected by different ecological factors, among the most important ones is the availability of food. An experiment on competitive exclusion was done in 1972. on populations of Italian wall lizard (*Podarcis siculus*) from the islands of Pod Mrčaru and Pod Kopište. About 30 years after the experiment, lizards on Pod Mrčaru (which are descendants of lizards from Pod Kopište) eat large amounts of plant food especially during the summer, and have modified intestines which indicate the possibility of fermentative degradation of cellulose by microorganisms. We found that the lizards from Pod Mrčaru are larger and heavier than lizards from Pod Kopište, and have greater relative gut lengths, especially females. We also concluded that there is interaction between the effects of habitat and sex on the relative gut lengths. More experiments are needed (on this species and others) in order to better understand the physiological and morphological changes associated with the evolution of herbivory and omnivory, and to realize what ecological factors affect the appearance of herbivory in lizards.

(26 pages, 11 figures, 1 tables, 23 references, original in: croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: herbivory, omnivory, physiology, digestion, Italian wall lizard (*Podarcis siculus*)

Supervisor: Dr. sc. Zoran Tadić, Assoc. Prof.

Reviewers: dr.sc. Sven Jelaska Assoc. Prof., dr.sc. Perica Mustafić Assoc. Prof.

Thesis accepted: 16.02.2017.

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1	Gmazovi (Reptilia).....	1
1.2	Porodica Lacertidae.....	1
1.3	Primorska gušterica (<i>Podarcis siculus</i> R. 1810)	2
1.4	Herbivorna prehrana.....	3
1.5	Translokacijski pokus na gušterima na području Lastovskog otočja.....	4
1.6	Novija istraživanja na otocima Pod Mrčara i Pod Kopište	5
1.7	Cilj rada.....	6
2.	Materijali, metode i životinje.....	7
3.	Rezultati	10
3.1	Morfometrijski podaci tijela.....	10
3.2	Morfometrijski podaci probavila.....	10
3.3	Efikasnost probave različite hrane	11
4.	Rasprava.....	17
5.	Zaključak.....	21
6.	Literatura.....	22
7.	Životopis	25

1. Uvod

1.1 Gmazovi (Reptilia)

Gmazovi (Reptilia) se pojavljuju već u Paleozoiku (prije oko 340 mil.god.) i prvi su pravi kopneni kralježnjaci. Predstavnici živućih gmazova se dijele na Archosauria (krokodili i ptice), Testudines (kornjače) i Lepidosauria (premosnici i ljuskaši). Smatra se da su se prvi ljuskaši (Squamata) pojavili u ranoj juri ili u kasnom Trijasu. Do kraja Jure odvojile su se glavne linije ljuskaša (Iguania, Gekkota, Scincomorpha, Anguimorpha) (Hutchins i sur., 2003b). Od živućih gmazova, ljuskaši imaju najveću raznolikost i najveću brojnost vrsta. Rasprostranjeni su na raznolikim staništima. Većinom su terestričke ili arborealne vrste, iako je velik broj zmija semiakvatičan. Gušteri, o kojim je riječ u ovom radu, su morfološki i ekološki visoko varijabilni, ali većina ima četiri dobro razvijena uda i dugačak rep. Mogu biti insektivorni, omnivorni pa čak i herbivorni. Velik broj vrsta guštera se bar djelomično hrani nekim oblikom biljne hrane i može ih se smatrati omnivorima. Najlogičniji način da se razvije herbivorni način prehrane je od omnivornih guštera koji već imaju neke morfološke adaptacije potrebne za biljnu prehranu (Vitt i Caldwell 2013). Hrvatska je, s obzirom na svoju veličinu, u svjetskom vrhu po brojnosti vodozemaca i gmazova, a guštera ima čak 17 vrsta (Crvena knjiga vodozemaca i gmazova Republike Hrvatske).

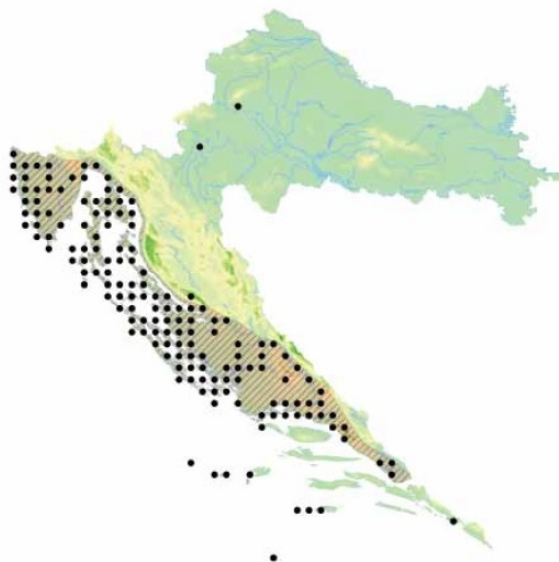
1.2 Porodica Lacertidae

Unutar ljuskaša nalazi se porodica Lacertidae ili tzv. lacertidni ili tipični gušteri. Gušteri te porodice variraju u veličini, odrasli mogu biti od 40 do 260 mm duljine od vrha glave do kloake¹ (eng. snout-vent length - SVL), imaju dugačak rep, koji je ponekad puno dulji od tijela. Većinom su terestrični, a neki su i arborealni. Uglavnom su insektivorni, a hranu traže na zemlji ili niskom grmlju i u podnožju drveća, ali neki se hrane i sjemenkama. Većinom su oviparni, ali mogu biti i ovoviviparne (npr. *Zootoca vivipara*) (Vitt i Caldwell 2013).

¹ Često se u literaturi ova duljina navodi i kao standardna duljina životinje.

1.3 Primorska gušterica (*Podarcis siculus* R. 1810)

Unutar porodice Lacertidae, nalazi se i primorska gušterica (*Podarcis siculus* R.) o kojoj je riječ u ovom radu. To je malena vrsta guštera koja živi u Hrvatskoj, Bosni i Hercegovini, Sloveniji, Srbiji, Crnoj Gori, Italiji, Francuskoj i Švicarskoj, a unesena je i u Španjolsku, Tursku te SAD (IUCN 2009). U Republici Hrvatskoj je prisutna na obalnom kopnenom dijelu, mnogim jadranskim otocima i otočićima, a unesena je i u Zagreb (Slika 1). Vrlo je prilagodljiva te se brzo širi u staništima u koja je unesena. Preferira otvorena staništa, plodna i obradiva područja, livade s rubnim suhozidima, živicama i grmljem, rubove šuma, obalne dine, parkove i dr. Česta je u gradovima i drugim naseljenim mjestima. Primorska gušterica je uvrštena u Crvenu knjigu vodozemaca i gmazova Republike Hrvatske. Status vrste je naveden kao “najmanje zabrinjavajući” (eng. least concern - LC), Zanimljivo je da je na nekim mjestima primorska gušterica invazivna vrsta (na pr. na otočiću Pod Mrčaru), ali podvrste *P. siculus ragusae* i *P. siculus adriaticus* ocijenjene su kao gotovo ugrožene (eng. near threatened - NT). Primorska gušterica je duga do 9 cm od vrha njuške do kloake (SVL), a ženke su manje od mužjaka. Izrazito je varijabilne obojenosti, posebno otočne populacije. Leđni dio je najčešće zelene, maslinaste ili svijetlosmeđe boje s prugastim uzorkom (tamnije i svjetlije linije ili točke). U nekim populacijama može se pojaviti i mrežasti odnosno točkasti uzorak, ili čak i pojava jedinki bez šara. Trbušni dio je uglavnom bijele ili sivkaste boje, često sa zelenkastim tonovima. Na rubnim trbušnim pločicama na bočnoj strani gušterice prisutne su i plave točke (Slika 2). Ponekad se može pojaviti i žuto ili narančasto obojenje jedinke ili cijele populacije (Crvena knjiga vodozemaca i gmazova Republike Hrvatske 2012, IUCN 2009). Ova vrsta je jedina u skupini guštera svojte *Podarcis* za koju je poznato da se pari i daje hibride s drugim vrstama iste skupine (do sada zabilježene *P. melisellensis*, *P. waglerianus*, *P. raffonei*, *P. tiliguerta*). Svi zabilježeni slučajevi nalaze se na otocima i na staništima promijenjenima pod utjecajem ljudskih aktivnosti (Capula 1993, 2002). Primorska gušterica nije zaštićena Zakonom o zaštiti prirode (NN 70/05; 139/08; 57/11), ali se zbog brojnih endemskih podvrsta diljem areala nalazi na Dodatku IV Direktive o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore Europske unije (Direktiva o staništima) te na Dodatku II Konvencije o zaštiti europskih divljih vrsta i prirodnih staništa. U Republici Hrvatskoj nije zaštićena vjerojatno zbog velike brojnosti svojih populacija, te mogućeg invazivnog karaktera (Crvena knjiga vodozemaca i gmazova Republike Hrvatske 2012).



Slika 1 - Potencijalna rasprostranjenost i nalazišta vrste *P.siculus* u RH (preuzeto iz Crvene knjige vodozemaca i gmazova Hrvatske 2012)



Slika 2 – Primorska gušterica sa bočnim plavim točkama na otoku Pod Mrčara (slikao Beck A. Wehrle, 2014.)

1.4 Herbivorna prehrana

Među ljuskašima (Squamata) samo 2% od oko 7800 vrsta se smatra herbivornim, a ta herbivornost je ograničena samo na guštere. Postoje tzv. tri zakona herbivornosti: životinja mora imati veliko tijelo, živjeti u toploj klimi i održavati visoku tjelesnu temperature radi bolje probave biljne hrane. Smatralo se da do evolucije herbivornosti može doći samo kod takvih vrsta gmazova (Espinoza i sur. 2004). Ali danas znamo da ima manjih vrsta guštera koji se hrane biljkama, a koji ne žive u toplijim klimatskim uvjetima. Espinoza i sur. 2004. godine su došli do zaključka da će se manji gušteri brže i lakše zagrijati radi njihove male mase, što je bitno radi nepredvidljivih uvjeta umjerene klime, iako vjerojatno neće moći zadržati toliko dugo tu višu temperaturu tijela za razliku od vrsta koje obitavaju u toplim klimatskim uvjetima (npr. tropska područja, pustinje). Probava celuloze se kod njih odvija fermentacijom u stražnjem crijevu, pomoću mikroba. Takvoj vrsti probave pogoduju dulja crijeva i veći nabori unutar crijeva. Time

se povećava dostupni volumen u crijevu i produljuje vrijeme prolaska hrane kroz samo crijevo, što je potrebno za odvijanje fermentacije i bitno utječe na efikasnost same probave (Vitt i Caldwell 2013). Život na otoku povlači sa sobom brojne izazove, a među njima se najviše ističe oskudica resursa. Otočni gušteri pogotovo trebaju imati dulje probavilo, dulje vrijeme prolaska hrane kroz probavilo i bolju efikasnost same probave kako bi preživjeli. Također je pojava cecalnih ventila (nabora u stražnjem crijevu (cekumu) koji pomažu fermentaciji) puno češća kod otočnih populacija (Segonas i sur. 2015). Sve ove osobine povećavaju količinu dobivene energije iz hrane i količinu dobivenih hranjivih tvari, i time osiguravaju potrebnu energiju iz vrlo ograničenih prehrambenih resursa.

1.5 Translokacijski pokus na gušterima na području Lastovskog otočja

Translokacijski pokus se radio u 70-tim godinama 20-tog stoljeća na dvije vrste guštera, koje su obitavale na dva različita otočića. Krška gušterica (*Podarcis melisellins*) zauzima područje južnih otoka u Jadranskom moru, dok primorske gušterice (*Podarcis siculus*) na tim područjima uopće nema, osim na nekoliko malih otoka zapadno od otoka Lastovo, gdje je situacija obrnuta. Primorska gušterica je česta na kopnenom dijelu Italije na zapadnoj strani Jadranskog mora, radi toga možemo zaključiti da se dogodila prekomorska kolonizacija iz Italije na naše južne otoke. Znanstvenici su primijetili da postoji morska granica staništa ovih dviju vrsta, širine oko 4.5 km. Istočnu granicu tog područja čini i otočić Pod Mrčaru gdje su od početka 70-tih godina 20-tog stoljeća živjele i krške gušterice. Sa zapadne je strane te granice otočić Pod Kopište na kojem i danas živi primorska gušterica i koji je predstavljao izvor guštera premještenih na Pod Mrčaru (Slika 3). Otočići Pod Mrčaru i Pod Kopište su dva najbliža otoka na toj granici staništa te dvije vrste. Ta dva otoka su slična po staništu, veličini (Pod Kopište = 0,09 km², Pod Mrčara = 0,03 km²) i gustoći populacija te dvije vrste guštera te su zato bili idealni za provođenje istraživanja interspecifične kompeticije koju su proveli Eviatar Nevo i njegovi suradnici 1972. godine. Translokacijski pokus je započeo prebacivanjem pet parova primorskih gušterica sa otočića Pod Kopište na otočić Pod Mrčaru, gdje su u središtu otoka obitavale krške gušterice, dok je na rubovima otoka, na stijenama, obitavala oštroglava gušterica (*Dalmatolacerta oxycephala*). Istovremeno je pet parova krških gušterica prebačeno sa Pod Mrčaru na Pod Kopište, gdje je obitavala samo primorska gušterica. Svih deset parova obje vrste su bili slične veličine (Tablica 1). S obzirom da je u vrijeme eksperimenta gušterima razdoblje parenja završilo, znanstvenici su zaključili da se mora pričekati do proljeća sljedeće godine kako bi se gušteri mogli razmnožiti i

nadali su se da će oni ili drugi znanstvenici ponovo posjetiti te otoke kako bi vidjeli do kojih promjena je došlo (Nevo i sur. 1972).

Tablica 1 – Popis introduciranih parova krške i primorske gušterice na otoke Pod Kopište i Pod Mrčaru; n = broj jedinki guštera, \bar{x} = srednja vrijednost masa guštera, range = raspon masa guštera (Nevo i sur. 1972)

B. Introduced specimens selected from population samples						
Species	Sex	n	Weight		Length	
			\bar{x}	range	\bar{x}	range
<i>L. melisellensis</i>	♂	5	6.94	6.6–7.1	66.6	64–69
	♀	5	3.52	3.2–3.9	59.6	54–61
<i>L. sicula</i>	♂	5	6.04	5.0–6.8	65.4	61–68
	♀	5	3.92	3.6–4.5	58.0	56–61



Slika 3 – Karta morske granice staništa primorske (na zapadu) i krške gušterice (na istoku)

1.6 Novija istraživanja na otocima Pod Mrčara i Pod Kopište

Nastavak istraživanja koje je proveo znanstvenik E. Nevo je započeto početkom 2000-tih godina, kad se skupina istraživača iz Belgije, SAD i Hrvatske vratila na otoke, te ustanovila da se na Pod Kopištu prebačene krške gušterice nisu uspjele održati. S druge strane, na Pod Mrčari su potpuno nestale krške gušterice, a otok je bio pun primorskih gušterica. Jedinke koje su potomci gušterica prebačenih sa Pod Kopišta, imale su duže, šire i više glave i jači zagriz od onih sa Pod Kopišta (ishodišna populacija). Analizom sadržaja želuca tih guštera u proljeće i ljeto pokazalo se da su oni puni biljnih ostataka. Gušteri sa Pod Kopišta su konzumirali manje bilja (7-4% bilja) i

prehrana im se nije mijenjala sezonski. Gušteri sa Pod Mrčare su konzumirali više bilja i imali su velike sezonske promjene u udjelu biljaka u prehrani (34% u proljeće, 61% na ljeto). Također je, od 50% ukupne biljne ishrane, većinu činila hrana visokog sadržaja celuloze (lišće i stabljike). Anatomska analiza probavila guštera sa otočića Pod Mrčaru pokazala je da posjeduju cecalne ventile što je svojstvo nekih životinja (npr. zečeva) koji fermentativno razgrađuju celulozu. Oni usporavaju kretanje hrane kroz probavilo te tvore fermentacijske komore u kojima mikroorganizmi razgrađuju celulozu. Cecalni su ventili prisutni u manje od 1% svih vrsta guštera. Istovremeno, ishodišna populacija gušterica sa otočića Pod Kopište nije pokazivala takve adaptacije. Gušteri sa Pod Mrčare često imaju oblike endosimbionte (Nematoda) u stražnjem crijevu (Herrel i sur. 2008). Iako cecalni ventili mogu ukazivati na adaptaciju na prehranu biljem koja se, evolucijski promatrano, dogodila izuzetno brzo (za < 30 godina tj. oko 40 generacija), anatomska struktura ne govori puno o samom procesu odn. mehanizmima probave. Stoga je pokrenuto međunarodno istraživanje (SAD, Francuska, Hrvatska) fiziologije probave ishodišne (Pod Kopište) i izvedene (Pod Mrčaru) populacije primorskih gušterica, kojega je dio i ovo istraživanje. Otočići Pod Mrčaru i Pod Kopište predstavljaju izuzetan, slučajno stvoreni, antropogeni sustav za proučavanje biologije invazivnosti te uz to vezanih ostalih područja biologije. Ovakav sustav, po našem saznanju, ne postoji nigdje drugdje u svijetu.

1.7 Cilj rada

Cilj ovog rada bio je pokazati fiziološku podlogu biljojednosti odnosno odrediti neke temeljne parametre probave.

Naša je početna hipoteza bila da gušteri sa Pod Mrčare imaju veću efikasnost probave od guštera sa Pod Kopišta kad jedu biljnu hranu, te da imaju dulja probavila od guštera sa Pod Kopišta. Također, očekivali smo da ne postoje nikakve razlike među spolovima u gore navedenim fiziološko-anatomskim parametrima.

2. Materijali, metode i životinje

Životinje: Za ovo istraživanje smo koristili guštere roda *Podarcis*, vrste *Podarcis siculus* R. (primorska gušterica). Hvatili smo ih omčama na otocima Pod Kopište i Pod Mrčaru, koji su dio Lastovskog arhipelaga (Slika 4). Lovili smo i mužjake i ženke, proljeće i ljeto 2014. i 2015. godine.



Slika 4 - Otoci Pod Kopište i Pod Mrčaru, Lastovsko otočje (autor Beck A. Wehrle 2016.)

Životinje smo hvatali omčicama. Nakon hvatanja, one su u platnenim vrećicama premještene na otok Lastovo i tamo odmah usmrćene (<6h od ulova).

Morfometrijski podaci: Uzimali smo osnovne morfometrijske mjere od ukupno 71 guštera. Mjerili smo masu svakog guštera, standardnu duljinu (“snout-vent length” – duljina od vrha njuške do kloake), i duljinu probavila. Također smo računali i Zihlerov indeks za sve jedinke. Relativna duljina probavila koja se inače koristi (duljina probavila/standardna duljina) može biti vrlo neprecizna, radi različitih oblika tijela same životinje, pa je bolje koristiti tzv. masenu duljinu probavila ili Zihlerov indeks koji se računa po formuli (Zihler 1982):

$$ZI = \frac{duljina_probavila}{10 \times \sqrt[3]{masa_tijela}}$$

Efikasnost probave: Dio životinja smo u platnenim vrećicama prebacili u laboratorij na Biološkom odsjeku, na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Životinje smo držali pojedinačno u standardnim plastičnim kavezima koji se koriste za držanje malih gmazova. Podloga u kavezima je bila šljunak, a gušteri su u kavezu imali skrivalište i posudu sa vodom. Hranjeni su kukcima (komercijalno nabavljeni zrikavci). Temperatura laboratorija je bila 28-29°C po danu, a 22-23°C po noći. Izmjena svjetla i tame slijedila je vanjske promjene. Gušterima smo izmjerili temeljne morfometrijske podatke (masa, standardna duljina). Za ovaj dio istraživanja koristili smo 30 mužjaka, po 15 sa svakog otoka. Gušteri sa oba otoka su podijeljeni u tri skupine te smo ih tada kontrolirano odn. prisilno hranili sa tri vrste prehrane: insktivorna, herbivorna i omnivorna. Guštere smo hranili svaka 1-2 dana, tokom vremenskog razdoblja od 11-31 dan. S obzirom da se gušteri u zatočeništvu sami ne hrane redovito, uobičajena praksa prisilnog hranjenja guštera fino samljevenom hranom je praktična, iako veličina čestica hrane ima utjecaja na probavljanje same hrane (Bjorndal i sur. 1990). Insektivorna prehrana je bila u obliku samljevenih, sušenih žohara, herbivorna prehrana je bila sastavljena od 30% bilja sa Pod Mrčare i 70% komercijalne hrane za ptice (uglavnom proso), a omnivorna prehrana je bila sastavljena od 50% bilja i 50% žohara. Ovakvim smo pristupom željeli oponašati prirodnu prehranu nađenu ispiranjem želuca (Herrel i sur. 2008). Količina hrane je bila strogo kontrolirana, a pakirali smo ju u polisaharidne kapsule te smo ju u tom stanju ugurati životinjama u želudac. Sa hranom je u svaku kapsulu stavljeno nešto karmina, kako bi se proizvedeni feces lakše poslije uočio. Nakon toga, pratili smo vrijeme prolaska kroz probavilo (eng. gut passage time - GPT). Kaveze smo pregledavali svakih sat vremena, a nađeni feces smo sakupljali u papirnate koverta, sušili ga i potom izvagali da dobijemo suhu masu unesene hrane. Poznavajući početnu masu hrane, koja je bila prilagođena masi životinje (oko 1.56% mase guštera \pm 0,367%), izračunali smo efikasnost probave (eng. apparent digestive efficiency - ADE) za životinjsku, biljnu i miješanu prehranu.

Efikasnost probave smo računali po formuli (Pafilis i sur. 2007, Sagonas i sur. 2015, Vervust i sur. 2010):

$$efikasnost = 1 - \frac{masa_fecesa}{masa_pojedene_hrane}$$

Ako su životinje dobile ili izgubile $\geq 10\%$ svoje početne težine, malo bi smanjili ili povećali količinu hrane. Pri tome smo pazili da je količina energije dobivene iz hrane otprilike jednaka za sve guštere (insektivori = 24742 J/g, herbivori = 18109 J/g, omnivori = 21425,5 J/g).

Eksperimentalno hranjenje je trajalo do 31. dana, nakon čega smo životinjama izvadili probavilo i izmjerili njegovu duljinu na samom kraju pokusa (Slika 5). Duljinu probavila i standardnu duljinu smo mjerili pomičnom mjerkom, masu guštera Pesola cilindričnim dinamometrom (raspon do 20g), a masu fecesa i hrane laboratorijskom analitičkom vagom.



Slika 5 – Sekcija primorske gušterice sa otoka Pod Mrčaru

Statistička obrada podataka:

Svi su podaci testirani na normalnost distribucije i homogenost varijanci. Normalnost distribucije testirana je konstrukcijom grafa vjerojatnosti normalne distribucije reziduala podataka (eng. normal probability plot of residuals). Homogenost varijanci testirana je Bartlett-ovim testom i Levene-ovim testom.

Brzina prolaza hrane kroz probavilo testirana je t-testom. Svi ostali podaci testirani su dvosmjernom odn. faktorijalnom analizom varijance (eng. two-way ANOVA, factorial ANOVA).

Svi grafovi u radu nacrtani su tako da znak u grafu predstavlja srednju vrijednost, a okomite i vodoravne linije iznad i ispod njega predstavljaju interval pouzdanosti od 95% (eng. 95% confidence interval).

3. Rezultati

3.1 Morfometrijski podaci tijela

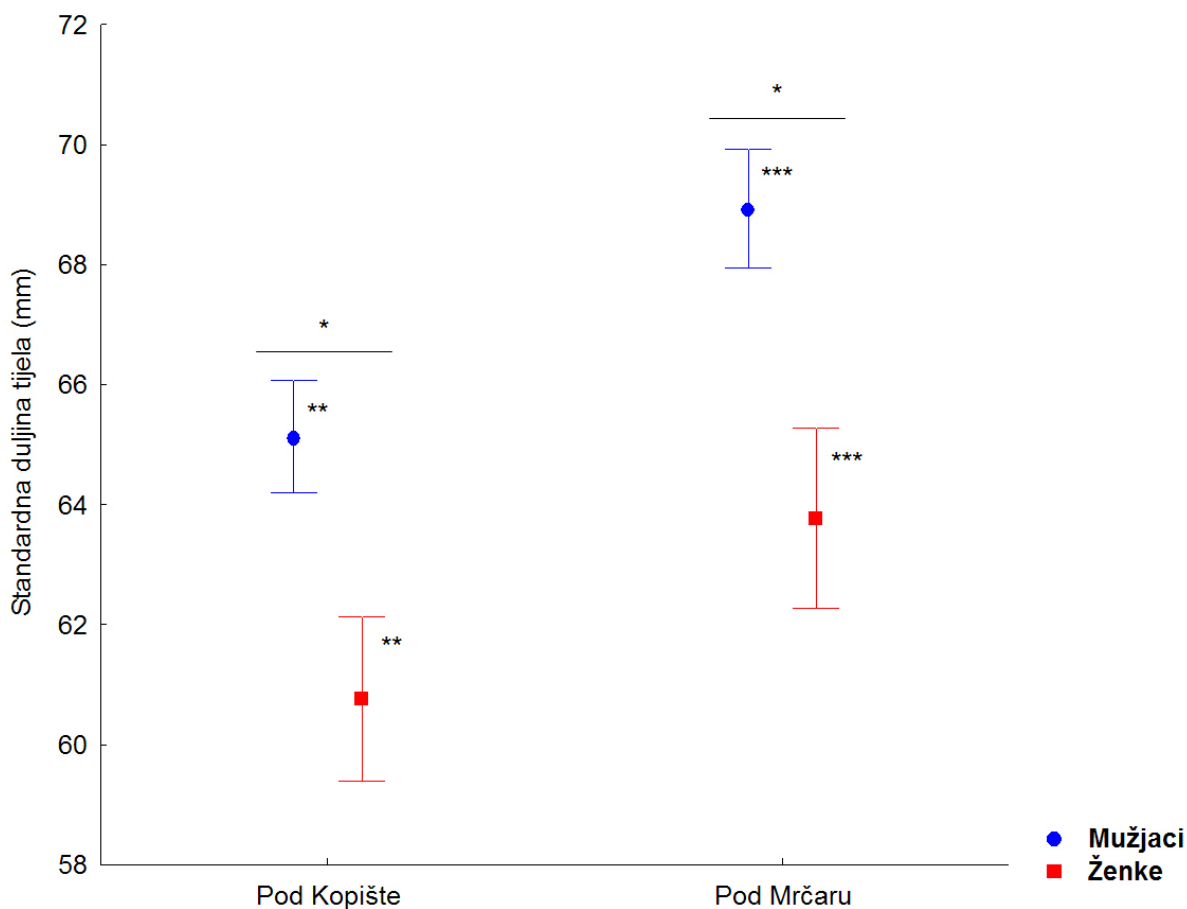
Gušteri su općenito veći na Pod Mrčari nego na Pod Kopištu (dvosmjerna ANOVA_{otok}: $F=30,98$; $p<0,01$) (na slici označeno sa *). Na oba otoka mužjaci su veći od ženki (dvosmjerna ANOVA_{spol}: $F=60,63$; $p<0,01$) (na slici označeno sa ** i ***) (Slika 6). Gušteri su zbog toga općenito i teži na Pod Mrčari nego na Pod Kopištu (dvosmjerna ANOVA_{otok}: $F=24,74$; $p<0,01$) (na slici označeno sa *), a mužjaci su na oba otoka teži od ženki (dvosmjerna ANOVA_{spol}: $F=49,38$; $p<0,01$) (na slici označeno sa ** i ***) (Slika 7).

3.2 Morfometrijski podaci probavila

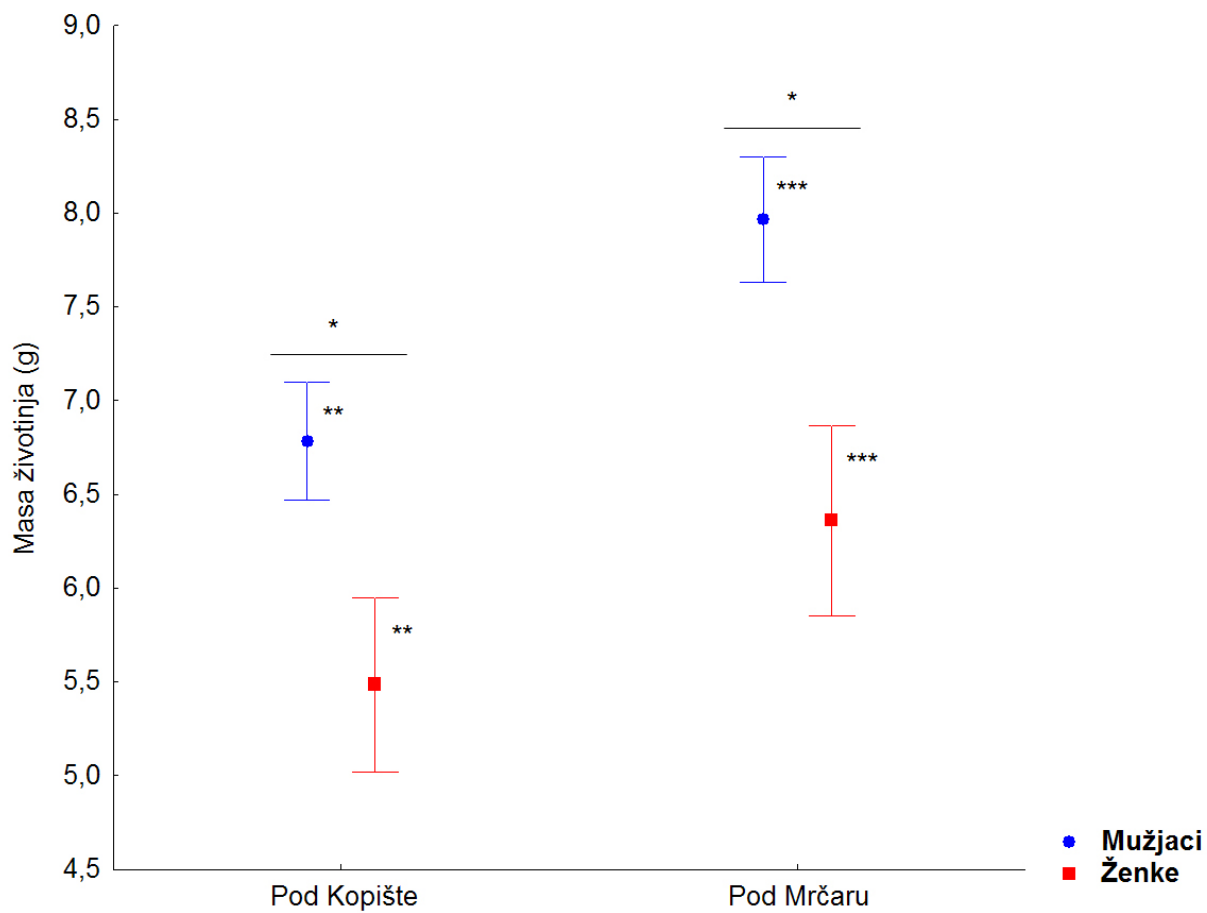
Ženke sa oba otočića imaju veću relativnu duljinu probavila nego njihovi mužjaci (dvosmjerna ANOVA_{spol}: $F=35,67$; $p<0,01$) (na slici označeno sa *) s time da gušteri sa Pod Mrčare imaju veću relativnu duljinu probavila od guštera sa Pod Kopišta (Dvosmjerna ANOVA_{otok}: $F=6,70$; $p<0,01$) (na slici označeno sa **) čemu značajno pridonose ženke sa relativno vrlo dugim probavilima (Slika 8). Zanimljivo je da u ovom slučaju, za razliku od morfometrijskih podataka za tijelo, postoji interakcija učinka staništa (otoka) i spola (dvosmjerna ANOVA_{otok*spol}: $F=7,35$; $p<0,01$) na relativnu duljinu probavila: Ženke na Pod Mrčari imaju značajno veće relativne duljine probavila nego ženke sa Pod Kopišta (na slici označeno sa ***), što se ne može reći i za mužjake (Slika 8). Njihove se relativne duljine probavila međusobno ne razlikuju. Iste se odnose dobije ako se iz mase tijela i duljine probavila izračuna tzv. masena duljina probavila (mm probavila/gram tjelesne mase) koja se još zove i Zihler-ov indeks (Slika 9). Iako su vrijednosti Zihler-ovog indeksa i relativne duljine probavila, zbog različitih načina njihovog proračuna, različite (brojevi na osima Y na slikama su različiti), temeljni su odnosi ovih morfoloških parametara između otoka i spolova potpuno isti, što djelomično pokazuju i rezultati statističke analize (dvosmjerna ANOVA_{otok}: $F=6,78$; $p<0,01$ (na slici označeno sa **))| dvosmjerna ANOVA_{spol}: $F=38,27$; $p<0,01$ (na slici označeno sa *)| dvosmjerna ANOVA_{otok*spol}: $F=7,57$; $p<0,01$ (na slici označeno sa ***) (Slika 8, Slika 9).

3.3 Efikasnost probave različite hrane

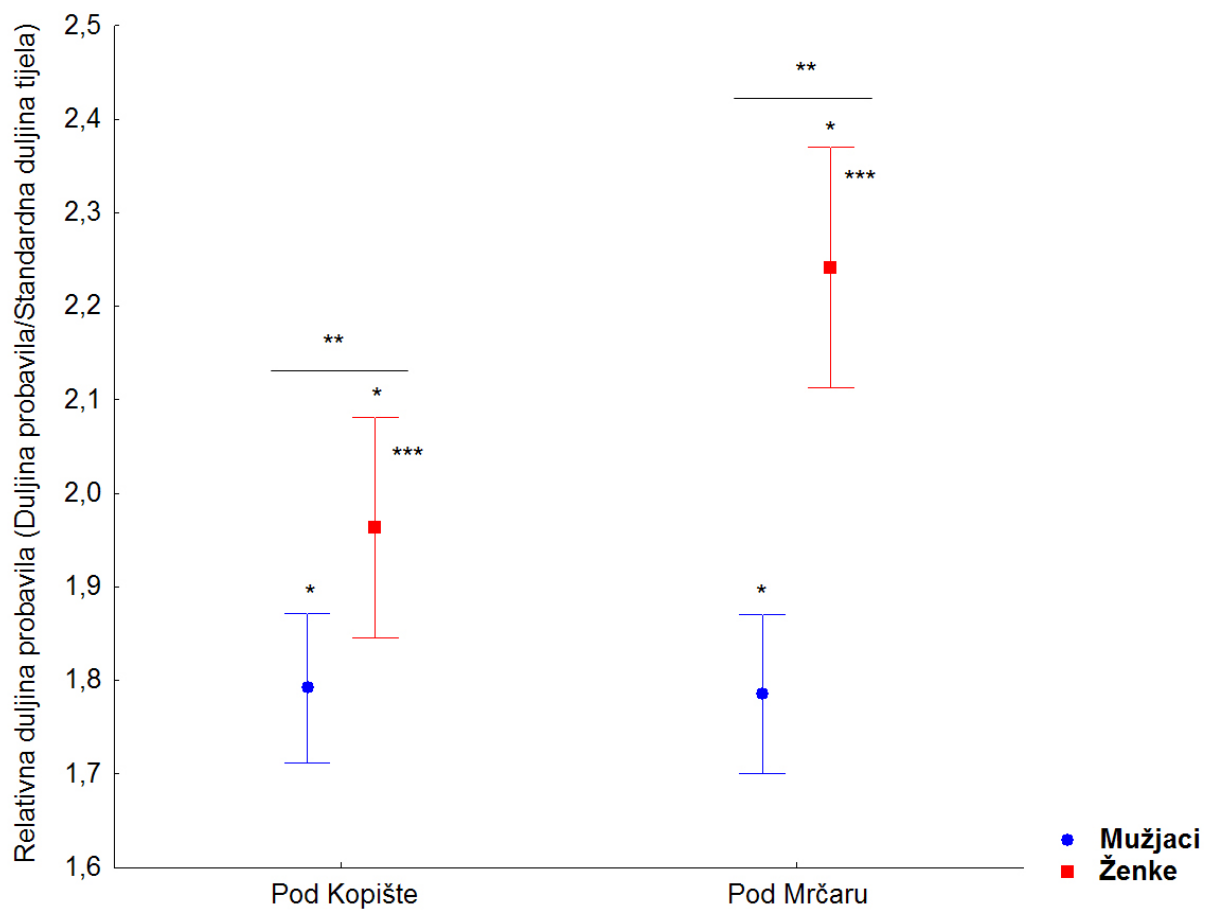
Brzina prolaza hrane kroz probavilo ne razlikuje se kod guštera na Pod Mrčari i Pod Kopištu (t -test: $t=-0,274$; $p=0,786$) (Slika 10). Gušteri sa Pod Mrčare efikasnije probavljaju biljnu hranu nego gušteri sa Pod Kopišta (dvosmjerna ANOVA_{otok}: $F=13,50$; $p<0,01$) (na slici označeno sa *) (Slika 11). Međutim, gušteri na oba otoka općenito puno efikasnije probavljaju životinjsku i miješanu hranu, u usporedbi sa čisto biljnom hranom (dvosmjerna ANOVA_{hrana}: $F=52,64$; $p<0,01$) (na slici označeno sa **) (Slika 11).



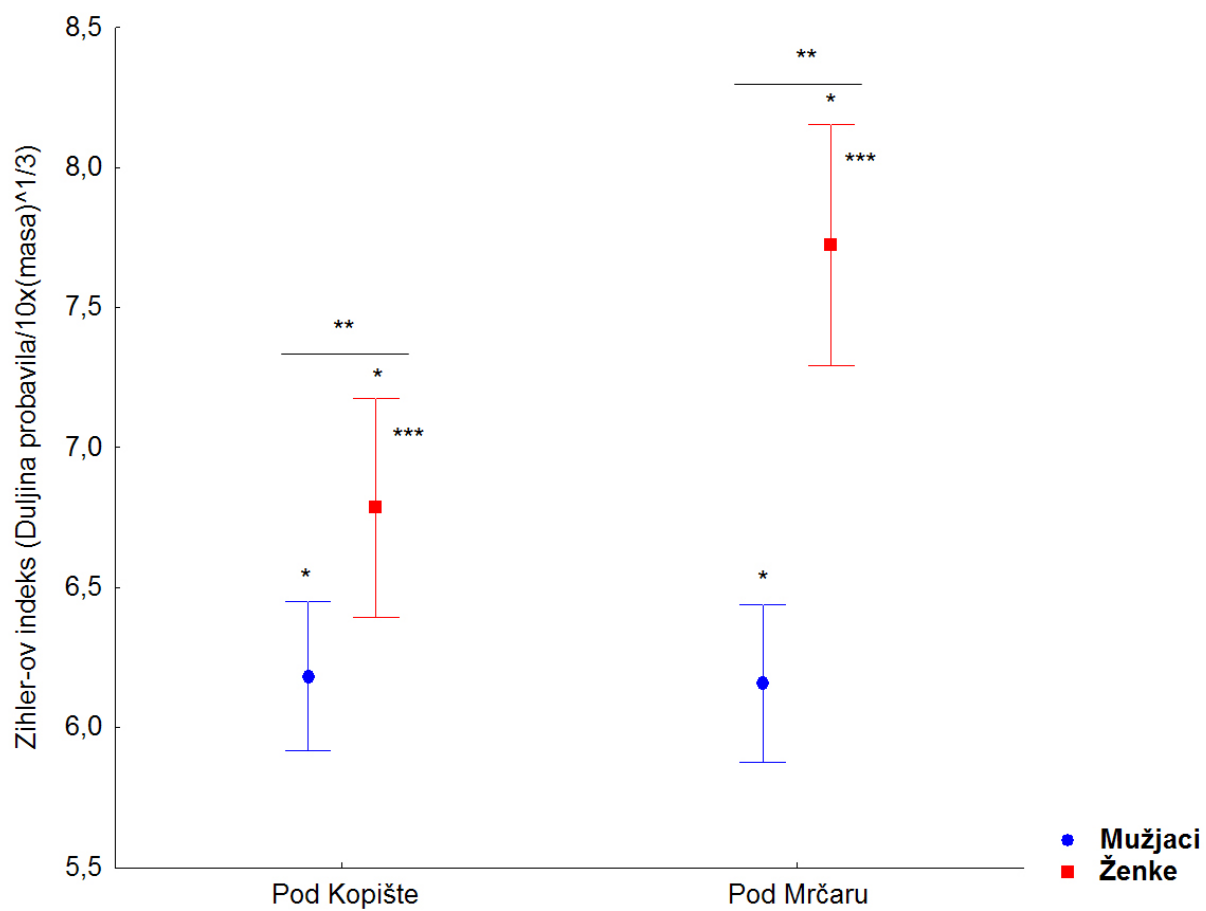
Slika 6 – Grafički prikaz standardne duljine tijela (mm) mužjaka i ženki primorske gušterice na otocima Pod Kopište i Pod Mrčaru. Statistički uspoređene veličine označene su korespondirajućim zvjezdicama (vidi tekst)



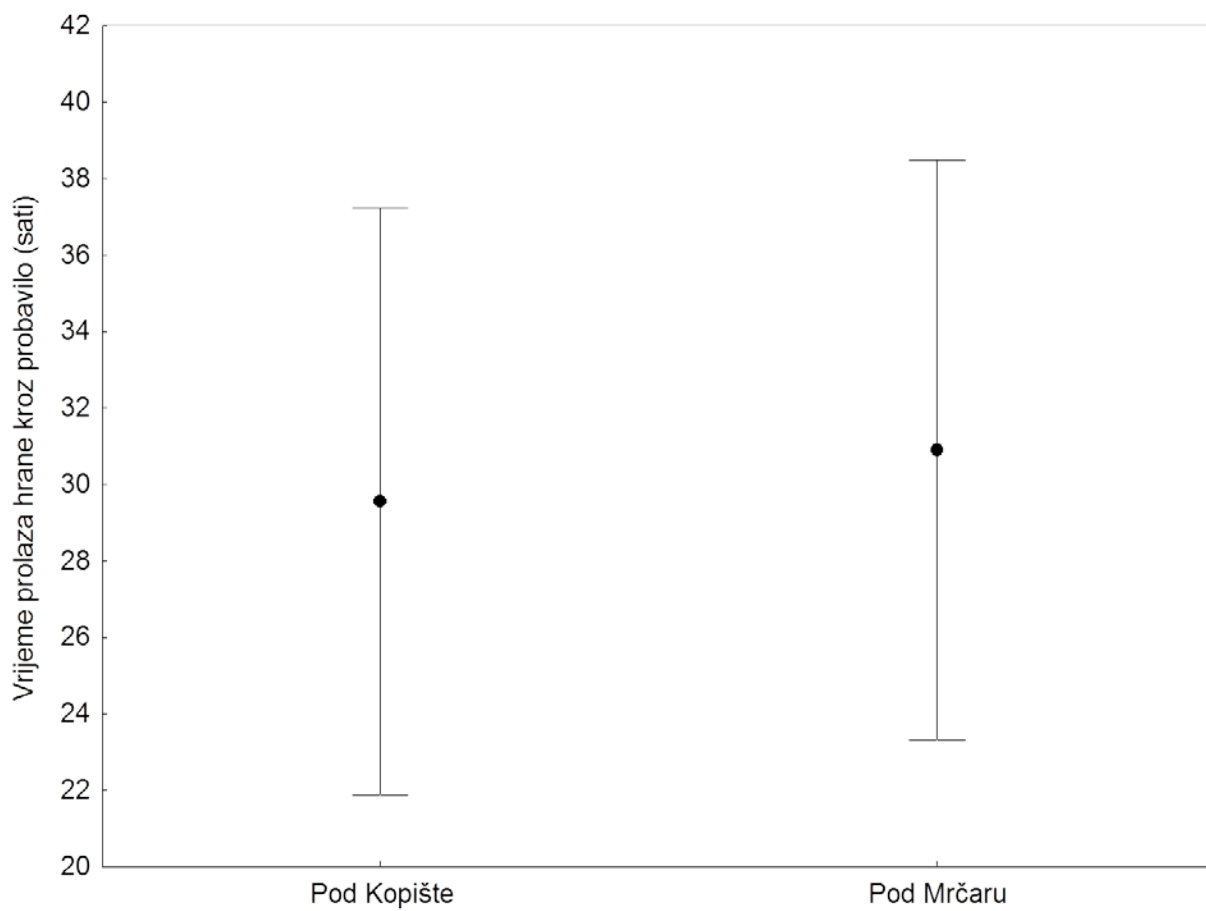
Slika 7 – Grafički prikaz mase mužjaka i ženki primorske gušterice (g) na otocima Pod Kopište i Pod Mrčaru. Statistički uspoređene veličine označene su korespondirajućim zvjezdicama (vidi tekst)



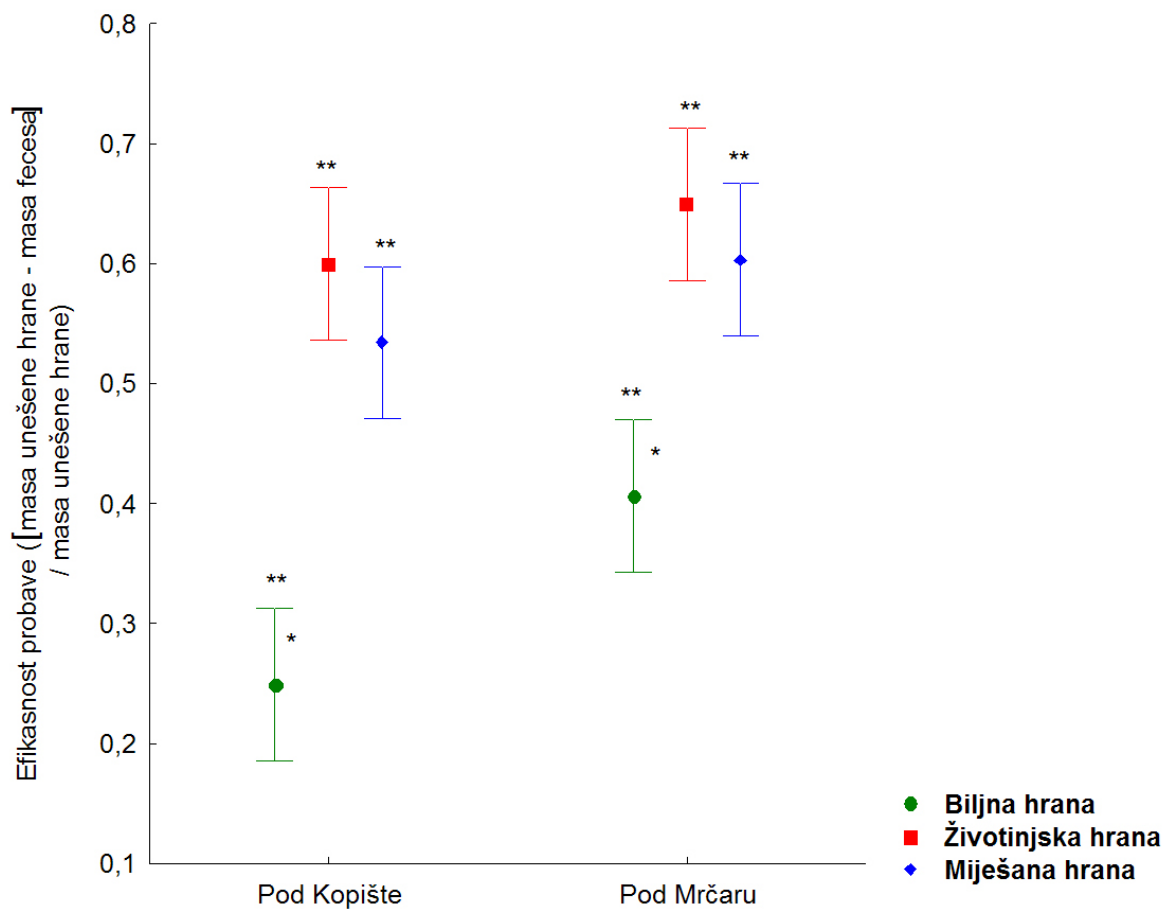
Slika 8 – Grafički prikaz relativne duljine probavila mužjaka i ženki primorske gušterice sa otoka Pod Kopište i Pod Mrčaru. Statistički uspoređene veličine označene su korespondirajućim zvjezdicama (vidi tekst)



Slika 9 – Grafički prikaz Zihler -ovog indeksa mužjaka i ženki primorske gušterice sa otoka Pod Kopište i Pod Mrčaru. Statistički uspoređene veličine označene su korespondirajućim zvjezdicama (vidi tekst)



Slika 10 – Grafički prikaz brzine prolaska hrane kroz probavilo mužjaka primorske gušterice sa otoka Pod Kopište i Pod Mrčaru.



Slika 11 – Grafički prikaz efikasnosti probave hrane mužjaka primorske gušterice sa otoka Pod Kopište i Pod Mrčaru. Statistički uspoređene veličine označene su korespondirajućim zvjezdicama (vidi tekst)

4. Rasprava

Život na otoku je zahtjevan za mnoge životinje radi smanjenih resursa neophodnih za život. Dobivanje potrebne hrane je jedan od osnovnih problema koji utječe na fitness. Većina guštera su predatori i hrane se manjim životinjama i samo ponekad konzumiraju biljnu hranu, ali ima mnogih omnivora i čak i nekih koji su isključivo herbivori. Ekološki faktori su vjerojatno jako bitni kod prelaska na prehranu biljem kod guštera jer se omnivornost i herbivornost pojavljuju unutar nekoliko porodica koje su sačinjene od gotovo isključivo karnivornih vrsta (Cooper i Vitt 2002). Postoje mnoga pitanja o važnosti biljne prehrane kod guštera i njene evolucije, i o odnosima između konzumacije bilja i ekoloških faktora i filogenije koja su ostala neodgovorena. Literatura je teško dostupna, objavljena u mnogim nepoznatim časopisima diljem svijeta na raznim jezicima i time su se otežala daljnja istraživanja. Postoji nekoliko predloženih čimbenika koji mogu utjecati na pojavljivanje bilja unutar prehrane. Najpoznatiji su povećana veličina tijela (Pough 1973), nastanjivanje okoliša sa ograničenim resursima, smanjenje interspecijske kompeticije i smanjenje predacije (Rand 1978), aridnost (Cooper i Vitt 2002) i insularnost (Van Damme 1999) (izoliranost, žive na otoku) ali ima malo čvrstih dokaza za te tvrdnje.

Evolucija veličine tijela je kompleksna i na nju utječu mnogi čimbenici (filogenija, seksualna selekcija, kompeticija, predacija...) (Cooper i Vitt 2002). Najpoznatija korelacija sa herbivornošću kod guštera je veća veličina tijela (Pough 1973). Više hipoteza pokušavaju objasniti ovu povezanost. Sokol 1967. kaže da su mali gušteri preslabi da reduciraju vegetaciju i time velike vrste imaju prednost, a Rand 1978. tvrdi da veliki gušteri trebaju dodatak prehrani u obliku bilja radi rijetkosti samog plijena u okolišu. Hipoteza Pough 1973. tvrdi da je energetske neisplativo malim gušterima da budu potpuno herbivorni, ali da veliki gušteri mogu dobiti dovoljnu kalorijsku vrijednost iz biljne hrane. Danas znamo da to nije baš tako. Postoje mnoga istraživanja koja tvrde da korelacija veličine tijela i biljne prehrane nije velika, jer je velika varijacija u količini biljne prehrane unutar ranga veličine samih guštera. Postoje mnoge varijacije između guštera slične veličine unutar istih porodica (Cooper i Vitt 2002). Otkriveno je puno malih omnivora, a i veći gušteri mogu jesti i manji životinjski plijen samo im se rang veličine tj. maksimalna veličina plijena povećala (Vitt i sur. 2000). Mnoge vrste i gube i dobivaju na veličini kad gube ili prelaze na omnivornu prehranu (pogotovo kod Lacertidae i Scleroglossa općenito), stoga i biljna i životinjska ishrana, uz mnoge druge faktore, vjerojatno doprinose evoluciji većeg

tijela na otocima i drugim područjima gdje je manji životinjski plijen rijedak. (Cooper i Vitt 2002). Naše istraživanje kao i druga (Herrel i sur. 2008, Espinoza i sur. 2004) pokazuje kako uključivanje biljaka u prehranu kod malih guštera iz umjerenih klima nije tako rijetka pojava kako se prije mislilo.

Naši podaci, kao i podaci Herrel i suradnika 2008., pokazuje da su gušteri veći i teži na Pod Mrčari nego kod ishodišne populacije sa Pod Kopišta, i da su mužjaci općenito veći i teži od ženki na oba otoka. S obzirom na prijašnja istraživanja moguće je da su gušteri sa Pod Mrčare veći radi veće konzumacije biljne hrane, tj. radi smanjih resursa i dostupnosti plijena na takvom otočnom staništu i radi smanjene predacije i kompeticije. Rand 1978. tvrdi da kada su interspecijska kompeticija i predacija smanjene, gustoća populacije se može jako povećati, što onda smanjuje količinu dostupnog plijena i time se preferiraju jedinke koje imaju širi raspon prehrane, tj. povećava se unos biljne hrane. Ovi nalazi zahtijevaju dodatna istraživanja i usporedbe s drugim populacijama i vrstama, kao i dodatna istraživanja drugih ekoloških faktora koji bi mogli utjecati na samu veličinu životinja.

Otočne populacije guštera moraju povećati raspon preferirane hrane i povećati dobivenu energiju iz prehrane, kako bi prebrodili ograničenja u resursima na takvom staništu (Van Damme i sur. 1999, Pafilis i sur. 2007, Vervust 2010). Gmazovi često prilagođavaju svoj probavni sustav kao odgovor na promjenu prehrane (Starck i sur. 2003). Efikasnost probave i struktura i veličina gastrointestinalnog trakta pokazuju visoku plastičnost (Naya i sur. 2011).

Mnoga istraživanja, pokazuju da otočne populacije guštera imaju duža probavila i veću efikasnost probave, i prisutnost cekalnih ventila u stražnjem crijevu kako bi poboljšali probavu biljne hrane (Herrel i sur. 2008, Herrel i sur. 2004, Sagonas i sur 2015, Vervust i sur. 2010). Zahvaljujući gore navedenim osobinama, otočni gušteri zadržavaju hranu u probavilu puno dulje i time povećavaju dobitak energije i količinu dobivenih nutrijenata iz limitiranih resursa na otoku (Herrel i sur. 2008, Sagonas i sur 2015, Pafilis i sur 2007). Naši podaci pokazuju da postoji zanimljiva interakcija između učinka staništa (otoka) i spola na relativne duljine probavila, za razliku od morfometrijskih podataka za tijelo. Kao što smo i pretpostavili, populacija sa Pod Mrčare ima veću relativnu duljinu probavila od ishodišne populacije sa Pod Kopišta, što odgovara podacima da se gušteri sa Pod Mrčare više hrane sa biljem (Herrel i sur. 2008). Ovoj razlici pridonose ženke sa Pod Mrčare koje imaju značajno veću relativnu duljinu probavila od

ženki sa Pod Kopišta, jer se relativna duljina probavila kod mužjaka između otoka ne razlikuje. Ženke vjerojatno imaju malo drugačiju strategiju hranjenja i vjerojatno, ponašanja od mužjaka (npr. drugačiju termalnu strategiju ponašanja), pa je najvjerojatnije radi toga došlo do ovih razlika u duljini. S obzirom da naše gušterice ne variraju toliko u obliku tijela kao npr. neke vrste riba, dobili smo iste odnose izračunom Zihlerovog indeksa, tj. masene duljine probavila (mm probavila/gram tjelesne mase) (Zihler 1982).

Kao odgovor na manjak hrane, kod otočnih populacija, moguće je da gušteri kao dodatak prehrane kukcima konzumiraju i biljnu hranu i time se događaju mnoge fiziološke i morfološke promjene u probavnom sustavu kako bi usporili prolazak hrane i što efikasnije probavili biljnu hranu (Van Damme i sur. 1999, Herrel i sur. 2008, Pafilis i sur. 2007, Vervust i sur. 2010, Sagonas i sur. 2015). Naši podaci pokazuju da kod obje populacija guštera nema razlike u brzini prolaska hrane kroz probavilo. Kao što smo predvidjeli gušteri sa Pod Mrčare puno efikasnije probavljaju biljnu hranu nego oni iz ishodišne populacije sa Pod Kopišta, što odgovara podacima da gušteri sa Pod Mrčare konzumiraju više bilja i češće imaju cecalne ventile u stražnjem crijevu (Herrel i sur. 2008). Ali s obzirom da nijedna populacija nije čisto herbivorna, gušteri sa oba otoka općenito efikasnije probavljaju insektivornu, odnosno omnivornu hranu koju smo im davali.

Postoji mnogo spekulacija o čimbenicima koji utječu na herbivornost ali ima malo istraživanja kako bi se testirale te hipoteze. Neki od njih su smanjenje interspecijske kompeticije i predacije (Rand 1978), aridnost okoliša i insularnost (Cooper i Vitt 2002). Jako je teško izolirati utjecaj samo jedne od ovih varijabli na konzumaciju biljne hrane kod guštera. Insularnost je jedini čimbenik čiji je utjecaj potvrdio Van Damme i sur. 1999. godine, u svom istraživanju je zaključio da kod Lacertidnih gušterica omnivornost češće evoluirala na otocima nego na kopnu, i da gušteri sa kopna koji već konzumiraju biljke lakše koloniziraju same otoke. Kod primorske gušterice je došlo do vanjskih i unutrašnjih promjena u morfologiji, tj. do razlika između dvije populacije sa otoka Pod Mrčara i Pod Kopište (Herrel i sur. 2008). Osim podataka o duljem probavilu, boljoj efikasnosti probave biljne hrane, i pojavu cecalnih ventila, koje smo mi dobili i potvrdili, gušteri sa Pod Mrčare imaju i dulje, veće i šire glave a time i jači zagriz kako bi biljnu hranu što više usitnili, tj. kako bi što veću površinu izložili simbiotskim mikroorganizmima u crijevu i time olakšali probavu (Herrel i sur. 2008). Sve ove adaptacije kod populacije guštera sa

Pod Mrčare su iznimno zanimljive same po sebi, ali i zato što su se dogodile u jako kratkom vremenskom periodu (< 30 generacija). Potrebna su još mnoga istraživanja ove i drugih vrsta guštera, kako bi bolje razumjeli fiziološke i morfološke promjene povezane sa evolucijom herbivornosti i omnivornosti, i kako bi shvatili koji sve ekološki faktori mogu utjecati na prelazak ili proširenje prehrane kod guštera.

5. Zaključak

U ovom radu smo istražili dio fizioloških i morfoloških osobina kod primorske gušterice koja je prešla na herbivornu prehranu i došli smo do ovih zaključaka:

- Gušteri s Pod Mrčare su veći i teži od ishodišne populacije sa Pod Kopišta
- Populacija guštera s Pod Mrčare ima veću relativnu duljinu probavila od ishodišne populacije sa Pod Kopišta, tome pogotovo pridonose ženke
- Postoji interakcija između učinka staništa (otoka) i spola na relativne duljine probavila: ženke a Pod Mrčare imaju veću relativnu duljinu probavila od mužjaka sa istog otoka i od cijele ishodišne populacije sa Pod Kopišta

6. Literatura

- Bjorndal, K. A., Bolten, A. B., & Moore, J. E. (1990). Digestive fermentation in herbivores: effect of food particle size. *Physiological Zoology*, 63: 710–721
- Capula, M. (1993): Natural hybridization in *Podarcis sicula* and *P. wagleriana* (Reptilia: Lacertidae). *Biochemical Systematics and Ecology* 21: 373–380
- Capula, M. (2002): Genetic evidence of natural hybridization between *Podarcis sicula* and *Podarcis tiliguerta* (Reptilia: Lacertidae). *Amphibia-Reptilia*, 23: 313–321.
- Crnobrnja-Isailovic, J., Vogrin, M., Corti, C., Pérez Mellado, V., Sá-Sousa, P., Cheylan, M., Pleguezuelos, J., Sindaco, R., Romano, A. & Avci, A. (2009) *Podarcis siculus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e.T61553A86151752.
- Espinoza R. E., J. J. Wiens i C. R. Tracy (2004) Recurrent evolution of herbivory in small, cold-climate lizards: Breaking the ecophysiological rules of reptilian herbivory *Proceedings of the national Academy of Sciences of the USA* 101: 16819-16824
- Herrel, A., B. Vanhooydonck and R. Van Damme (2004) Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or constraint ? *Journal of Evolutionary Biology* 17: 974-984.
- Herrel, A., K. Huyghe, B. Vanhooydonck, T. Backeljau, K. Breugelmans, I. Grbac, R. Van Damme, i D. J. Irschick (2008) Rapid large-scale evolutionary divergence in morphology and performance associated with exploitation of a different dietary resource. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the USA* 105: 4792-4795
- Hutchins M., Duellman, W.E. i Schlager, N. (ur.) (2003b): Grzimek`s Animal Life Encyclopedia. 2nd edition. Volume 7, Reptiles, Farmington Hills, MI: Gale Group, pp. 571
- Jelić, D., M. Kuljerić, T. Koren, D. Treer, D. Šalamon, M. Lončar, M. Podnar-Lešić, B. Janev Hutinec, T. Bogdanović, S. Mekinić i K. Jelić (2012): Crvena knjiga vodozemaca i gmazova Hrvatske. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb
- Naya D.E., Veloso C., Sabat P., Božinović F. (2011) Physiological flexibility and climate change: the case of digestive function regulation in lizards. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular and Integrative Physiology* 159:100–104

- Nevo E., Gorman G., Soule M., Yang S. Y., Clover R. Jovanovic V. (1972) Competitive exclusion between insular *Lacerta* species (Sauria, Lacertidae): notes on experimental introductions. *Oecologia* 10: 183–190
- Pafilis P, Foufopoulos J., Poulakakis N., Lymberakis P. i Valakos E. (2007) Digestive performance in five Mediterranean lizard species: effects of temperature and insularity. *Journal of Comparative Physiology B* 177: 49–60
- Pough, F. H. (1973) Lizard energetics and diet. *Ecology* 54: 837-844
- Rand, A. S. (1978) Reptilian arboreal folivores. In: *The ecology of arboreal folivores*: Montgomery, G. G. (Ed.). Smithsonian Institution Press, Washington DC, pp 115-122.
- Sagonas K., P. Pafilis i E.D. Valakos (2015) Effects of insularity on digestion: living on islands induces shifts in physiological and morphological traits in island reptiles. *Naturwissenschaften* 102: 55 doi: 10.1007/s00114-015-1301-8
- Sokol O. M. (1967) Herbivory in lizards. *Evolution* 21: 192–194
- Starck JM (2003) Shaping up: How vertebrates adjust their digestive system to changing environmental conditions. *Animal Biology* 53: 245–257.
- Van Damme R, Bauwens D, Verheyen RF (1991) The thermal dependence of feeding behaviour, food consumption and gut-passage time in the lizard *Lacerta vivipara* Jacquin. *Functional Ecology* 5: 507–517
- Van Damme R (1999) Evolution of herbivory in lacertid lizards: effects of insularity and body size. *Journal of Herpetology* 33: 663–674
- Vervust B., P. Pafilis, E. D. Valakos, i R. Van Damme (2010) Anatomical and physiological changes associated with a recent dietary shift in the lizard *Podarcis sicula*. *Physiological and Biochemical Zoology* 83: 632–642
- Vitt, L. J. (2000). Ecological consequences of body size in neonatal and small-bodied lizards in the neotropics. *Herpetological Monographs* 14: 388-400.

Vitt L. J. i J. P. Caldwell (2013): Herpetology An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles. Academic Press, London, ISBN: 9780123869197

Zihler, F. (1982) Gross Morphology and Configuration of Digestive Tracts of Cichlidae (Teleostei, Perciformes): Phylogenetic and Functional Significance. Netherlands Journal of Zoology 32: 544-571

7. Životopis

Marija Krajnović

Osobne informacije:

Datum rođenja: 06.02.1989.

Mjesto rođenja: Zagreb, Hrvatska

Obrazovanje:

Prirodoslovno matematički fakultet. Biološki odsjek. Diplomski studij Ekologije i zaštite prirode.
2014-danas

Prirodoslovno matematički fakultet. Biološki odsjek. Preddiplomski studij biologije. 2007-2014.

III. gimnazija Zagreb, Hrvatska, 2003-2007

Strani jezici: Hrvatski (*materinji jezik*)

Engleski (*napredni stupanj u govoru i pismu*)

Udruga studenata biologije “BIUS”: Redovna članica udruge od 2009., voditeljica sekcije za šišmiše od 2015 do 2017.

Sudjelovanje na projektima u sklopu Udruge studenata biologije “BIUS”:

Biološki kamp "Kornati 2009." u Kornatskom arhipelagu

Inventarizacija faune šišmiša u Parku Maksimir 2009.-2010.

Međunarodni biološki kamp "Istraživanje bioraznolikosti rijeke Zrmanje 2010."

Istraživačko – edukacijski kamp „Istraživanje bioraznolikosti otoka Hvara 2011.“

Monitoring faune šišmiša parka Maksimir 2011.-2012.

Istraživačko – edukacijski projekt “Dinara 2012.”

Istraživačko - edukacijski projekt „Apsyrtides 2013.“

Istraživačko – edukacijski projekt „Grabovača 2014.“

Istraživačko – edukacijski projekt „Papuk 2015.“

Istraživačko – edukacijski projekt “Mura-Drava 2016”

Monitoring faune šišmiša parka Maksimir 2016.

Publikacije:

Ratko M., V. Aptreeva i M. Krajnović (2010) An overview on BIUS research projects and its impact on existing and further bat research in Croatia; 15th International Bat Research Conference (Prague, Czech Republic)

Wehrle B. A., Tadić Z., Krajnović M., Herrel A., German D. P. (2015) Changes in digestive performance and gut structure and function in a newly herbivorous lizard. Annual Meeting of The Society for Integrative and Comparative Biology, Palm Beach, USA

Wehrle B. A., Bao-Quang N-P, Dang R. K., Tadić Z., Krajnović M., Herrel A., German D. P. (2016) Seasonal and sex effects on the digestive physiology of a newly herbivorous lizard. Annual Meeting of The Society for Integrative and Comparative Biology, Portland, USA

Wehrle B. A., Tadić Z., Krajnović M., Chernoff K., Herrel A., German D. P. (2017) Comparative nutrient digestibility between insectivorous and rapid-evolving herbivorous Italian Wall Lizards. Annual Meeting of The Society for Integrative and Comparative Biology, New Orleans, USA